

Mapeamento Automático de Redes WiFi com base em Assinaturas Rádio

Rui N. Gonçalves Monteiro
Engenharia de Comunicações
Universidade do Minho
Guimarães, Portugal
ruimonteiro84@gmail.com

Adriano Moreira
Centro Algoritmi
Universidade do Minho
Guimarães, Portugal
adriano.moreira@dsi.uminho.pt

Resumo— Nos dias de hoje existe um elevado número de redes *WiFi* instaladas e funcionais, oferecendo uma boa cobertura, especialmente em ambientes urbanos. Este trabalho propõe um processo para a criação automática de mapas com a localização relativa de *Access Points* (APs) *WiFi*. A ideia base consiste em utilizar assinaturas rádio recolhidas pelos próprios utilizadores no âmbito da sua utilização normal das redes. Com este trabalho será possível obter informação sobre a posição relativa dos APs de forma automática, eliminando a realização de actividades morosas e dispendiosas para tarefas de instalação/actualização e manutenção das redes *WiFi*. Será ainda possível caracterizar os espaços, tendo por base os registos de utilização destas redes.

Keywords: *Wireless LAN, self-mapping location systems, graph drawing, WiFi Access Points (APs) georeferencing*

I. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem-se assistido a um crescimento muito grande na instalação de redes *WiFi*, não só em ambientes públicos, tais como universidades, aeroportos e centros comerciais, mas também em ambientes residenciais. Todas estas redes são utilizadas por um número muito grande de utilizadores, quer para acesso a serviços locais quer para acesso à Internet. Dado o elevado número de redes existentes actualmente, especialmente em ambientes urbanos, nos últimos anos tem-se assistido ao surgimento de diversas tecnologias que exploram estas infra-estruturas para oferecer novas funcionalidades. De entre estas, destacam-se os sistemas de posicionamento, os quais exploram as assinaturas rádio criadas em cada local pelos *Access Points* (APs) para determinar a posição de dispositivos localizados nesses locais. Estes sistemas, designados por sistemas de localização em tempo real (RTLS – *Real Time Location Systems*), dependem do conhecimento da posição de cada AP para poderem calcular a posição dos dispositivos. Em ambientes privados, esta informação é obtida através da observação directa da posição de cada AP. Em ambientes públicos, a geo-referenciação dos APs é frequentemente efectuada através de uma actividade conhecida como *WarDriving* [1], em que a cada sinal rádio (*WiFi Beacon*) detectado, é associado a uma posição obtida de um receptor GPS. Com base nestes dados é possível criar mapas de rádio que, posteriormente, são utilizados para determinar a posição dos dispositivos [2, 3].

A construção destes mapas com a localização dos APs, com recurso a receptores GPS, apresenta vários inconvenientes. Primeiro, a recolha de dados apenas pode ser realizada no exterior devido às limitações do próprio sistema GPS. Depois, os APs detectados ficam associados à posição em que o *Beacon* foi detectado e não à sua posição real. Tendo em conta que em espaços abertos, um *Beacon* pode ser detectado a várias centenas de metros do AP que o emitiu e considerando a própria acuidade do sistema GPS, os mapas de APs gerados por *WarDriving* são normalmente muito pouco precisos. Acresce o facto de que as redes *WiFi* sofrem frequentemente alterações na sua configuração, física e lógica, através da instalação de novos APs e remoção e/ou reconfiguração dos existentes, pelo que estes mapas rapidamente se podem tornar obsoletos.

Por outro lado, a utilização destas redes pelos utilizadores deixa rastros, na forma de registos de utilização nos APs e nas infra-estruturas de rede, os quais podem ser utilizados para caracterizar os próprios espaços. Se, por exemplo, um dado AP é utilizado frequentemente por apenas um ou dois utilizadores, é provável que este seja um AP privado, enquanto um AP utilizado por um grande número de utilizadores diferentes ao longo de um dia, é plausível considerá-lo um AP público. Então, este padrão de utilização poderá ajudar a perceber a utilização do próprio espaço [4, 5, 6].

Com este trabalho pretende-se desenvolver um processo alternativo para a criação de mapas de APs, com base em assinaturas rádio recolhidas pelos próprios utilizadores durante a utilização normal das redes *WiFi* e sem o recurso a receptores GPS.

II. ESTADO DA ARTE

A. Place Lab

Anthony LaMarca, *et al.* [3] propuseram um sistema denominado por Place Lab, com a finalidade de fornecer informação de localização a utilizadores com computadores portáteis, PDAs e telefones móveis, através da escuta de *Beacons* de rádio (tramas de gestão periodicamente emitidas), tais como os de redes *WiFi*, estações base de transmissão GSM ou dispositivos fixos de *Bluetooth*, devidamente instalados no meio. A escuta deste *Beacons* de rádio por parte dos utilizadores permite obter informação relativa a identificadores

únicos ou semi-únicos, como por exemplo os endereços MAC dos APs *WiFi* e efectuar uma estimativa da sua localização através da escuta de um ou mais identificadores, tendo por base a localização geográfica dos emissores de *Beacons* instalados no meio. A posição do utilizador é obtida, tendo por referência o conhecimento de tais posições. Sem esta informação, o sistema não consegue efectuar uma estimativa da sua localização.

O principal objectivo do sistema Place Lab é a de fornecer cobertura global, através dum serviço que funcione sempre, inclusivamente em ambientes interiores e remetendo para segundo plano a precisão das estimativas de localização. A arquitectura do sistema Place Lab consiste em três elementos essenciais: os *Beacons* de rádio detectados, base de dados que contém informação crucial sobre a localização dos emissores de *Beacons* e os clientes Place Lab que utilizam esta informação para estimar a sua localização.

O sistema Place Lab revela que é possível estimar a localização de utilizadores, com uma precisão média de 15 a 20 metros, desde que exista uma densidade suficiente de emissores de *Beacons* 802.11. Utilizando somente *Beacons* GSM, a precisão decresce para 100-200 metros.

B. RADAR

RADAR é um sistema de localização e de registo de movimentação de utilizadores em ambientes interiores, desenvolvido por P. Bahl e V.N. Padmanabhan [7].

Trata-se de um sistema baseado em *fingerprinting* de sinais de rádio, que regista e processa a informação da potência de sinal obtido dos vários APs existentes. Posteriormente combina medições experimentais com modelos de propagação de sinal, para determinar a localização do utilizador e assim permitir a utilização de serviços e aplicações de localização.

Este sistema de localização para estimar a localização do utilizador/terminal móvel necessita de duas fases:

- **Off-line** (ou calibração): na qual se colecionam dados relativos às potências de sinal, nos diversos pontos assinalados na planta e em cada ponto é registada informação relativa a 4 direcções. Assim, durante esta fase são preservados dados na forma (t, x, y, d) , onde t representa o instante de tempo da leitura, (x, y) são as coordenadas cartesianas do terminal móvel e d representa a direcção (sendo utilizada uma das seguintes referências: norte, sul, este, oeste). É ainda necessário que cada AP guarde a informação sobre a medição realizada da potência de sinal (SS), conjuntamente com uma marca temporal sincronizada, sendo preservados dados na forma (t, BS, SS) .
- **Real-time**: são também colecionados dados relativos às potências de sinal em tempo real, na forma (t, BS, SS) . Os dados são comparados com os dados obtidos durante a fase *off-line* e é aplicado um algoritmo de triangulação, para estimar as coordenadas do utilizador.

O sistema RADAR consegue estimar a localização de utilizadores com uma precisão média de 2 a 3 metros.

Ambos os sistemas abordados dependem de informação geográfica prévia sobre a localização dos APs, sem a qual não conseguem traduzir observações rádio em estimativas de localização.

C. Self-Mapping em sistemas de localização 802.11

A criação de mapas de emissores de rádio pode ser um processo moroso e dispendioso. Tipicamente, o mapa de rádio é manualmente construído para as áreas de interesse, sendo posteriormente transferido para os devidos clientes ou servidores e só depois disponibilizado aos utilizadores. A inserção de novas fontes de rádio relevantes, implica efectuar uma actualização do mapa de rádio para que sejam considerados os novos emissores de rádio. Ambos os processos implicam enorme desperdício de tempo e representam o maior custo no desenvolvimento e manutenção destes sistemas. Anthony LaMarca, *et al.* [8] definem um algoritmo para que, de forma automática, seja criado o mapa da rede, à medida que é executado o algoritmo (*Self-Mapping*). Tal algoritmo minimiza ou elimina a fase inicial de calibração, permitindo que o sistema de localização construa o mapa da rede conforme a utilização do sistema, recorrendo à escuta de assinaturas de rádio. Estes sistemas (baseados em *Beacons*) oferecem boa precisão e elevada cobertura em diversos ambientes.

É definido um algoritmo baseado num grafo, para mapear os *Beacons* de rádio, dado um pequeno conjunto de dados. Os nós do grafo representam os emissores de *Beacons* de rádio (APs *WiFi* ou *Bluetooth* e estações base GSM) e as arestas representam a distância entre dois emissores de *Beacons* detectados simultaneamente. A utilização de informação sobre a localização conhecida de determinados emissores de *Beacons* permite criar nós âncora para mapear os restantes nós, minimizando assim os erros. Deste modo, com a abordagem *Self-Mapping* apenas é necessário conhecer-se à priori a localização de um pequeno conjunto de APs. À medida que o processo se vai depois desenrolando, as novas medições de rádio são utilizadas para aumentar e otimizar o mapa de rádio completo. O algoritmo *Self-Mapping* utiliza informação de algumas bases de dados ou eventual utilização de receptores GPS, para obtenção de informação relativa à localização de alguns APs.

Os resultados da abordagem *Self-Mapping* demonstram que o sistema funciona devidamente e que se trata duma alternativa viável ao mapeamento explícito, efectuando estimativas de distâncias com um erro médio de precisão de 31 metros. É ainda mostrado que o algoritmo *Self-Mapping* de localização de emissores de *Beacons* efectua estimativas que são, em média, apenas 5 metros piores do que as estimativas efectuadas pelo *War-Driving*.

D. Calibree

A. Varshavsky, *et al.* [9] definem um sistema denominado por *Calibree*. Neste sistema são estimadas, numa primeira fase, as distâncias relativas entre os telefones móveis que detectam no mínimo uma estação base GSM em comum, através da comparação de assinaturas rádio GSM. Para estimar distâncias relativas, o sistema *Calibree* utiliza uma fórmula de regressão executada em tempo real, baseada na avaliação das assinaturas rádio GSM e na localização absoluta de um pequeno número de telefones móveis (equipados com receptor GPS). Caso

nenhum telefone reporte localização absoluta, o sistema *Calibree* não consegue estimar localizações absolutas mas consegue estimar distâncias relativas entre pares de telefones móveis, considerando essa informação útil para aplicações de jogos e redes sociais móveis, onde o conhecimento da distância relativa entre os telefones móveis é suficiente.

Estas medições de distâncias formam um conjunto de restrições que podem ser utilizadas para estimar as posições dos nós de um grafo, baseado em algum sistema de coordenadas. O mapa global relativo de uma rede, assemelha-se ao mapa global absoluto, embora sujeito a efeitos de translação, rotação e reflexão.

III. MAPEAMENTO DA REDE COM BASE EM DADOS DE UTILIZAÇÃO DE REDES *WiFi*

O Sistema de Mapeamento Automático da Rede (SMAR) com base em dados de utilização de redes *WiFi* é um sistema que explora a informação de rádio recolhida num dispositivo móvel para estimar a localização relativa de um conjunto de APs. Aproveita informação de redes *WiFi* para estimar distâncias entre pares de APs, construindo o mapa da rede de forma automática e à medida que são obtidos dados das redes *WiFi*. Neste sistema não existe necessidade de uma fase de calibração, como acontece em [3] e [7], nem da existência de receptores GPS instalados em alguns nós da rede, nem de nós emissores de *Beacons* com posições conhecidas, como acontece em [8] e [9].

A. Arquitectura do sistema

O SMAR, para efectuar estimativas de distâncias entre os APs, utiliza assinaturas rádio *WiFi* recolhidas pelos dispositivos dos utilizadores. Tais terminais detectam os níveis de sinal recebido (RSSI – *Received Signal Strength Indication*) através dos *Beacons*, transmitidos periodicamente pelos APs na sua vizinhança e enviam essa informação (medições) para uma base de dados, através de uma mensagem HTTP. Caso o terminal não possua conectividade à Internet, as medições são acumuladas e quando é detectada conectividade são enviadas todas as medições acumuladas.

O SMAR é um sistema que utiliza os registos de medições inseridos na base de dados e, através do seu processamento, vai efectuando o mapeamento da rede. O resultado desta tarefa permite criar uma representação gráfica da configuração estimada da rede *WiFi* e envolve também a preservação das distâncias estimadas, que separam os APs, num repositório central. A Figura 1 ilustra a arquitectura do SMAR.

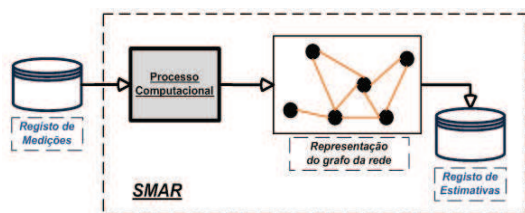


Figura 1. Arquitectura do SMAR

O SMAR é dividido nos dois seguintes módulos:

- 1) Módulo de cálculo de estimativas de distâncias entre pares de APs;
- 2) Módulo de visualização da rede *WiFi*.

O primeiro módulo utiliza a informação contida na base de dados de medições (assinaturas rádio) e um modelo de propagação para efectuar o cálculo das estimativas das distâncias, entre os pares de APs detectados nas diversas medições. É possível também recorrer-se a um ficheiro local para aquisição de medições, bem como através da realização de medições em tempo real, embora esta última situação requeira a movimentação do terminal que executa o SMAR, estando por este motivo fora do âmbito do trabalho em questão.

O segundo módulo utiliza as estimativas das distâncias entre pares de APs para estimar as posições relativas dos APs, utilizando o relacionamento existente entre os pares de APs e as estimativas de distâncias entre si, para posicionar todos os APs. Cada AP é representado como um nó de um grafo, enquanto as relações existentes entre APs são representadas através de arestas, sendo que o comprimento pretendido para essas arestas é a estimativa de distância entre pares de APs obtido a partir do modelo de propagação.

B. Módulo de cálculo de estimativas de distâncias entre pares de APs

O módulo de cálculo de estimativas de distâncias entre pares de APs do SMAR efectua o processamento da informação referente a medições efectuadas por terminais, através de um *scanning* passivo (detecção das tramas *Beacon* emitidas periodicamente pelos APs). Esta informação pode ser preservada num documento de texto ou numa base de dados e diz respeito ao registo de medições.

O modelo de propagação adoptado para o cálculo de estimativas de distâncias entre pares de APs é uma modificação efectuada ao modelo de propagação de sinais, em ambientes interiores de *Seidel-Rappaport* [10], definido pela equação (1).

$$ss = ss_0 - 10 \times n \times \log_{10}(d/d_0) \quad (1)$$

Onde ss representa o nível de sinal recebido a partir de um emissor, situado à distância d do receptor e onde ss_0 , n e d_0 são parâmetros do modelo. O parâmetro ss_0 representa o nível de sinal recebido à distância d_0 do emissor, enquanto o parâmetro n representa o tipo de ambiente em que se situam o emissor e o receptor, reflectindo a presença de paredes de betão, objectos metálicos, o tipo de mobiliário, etc.

Segundo um estudo descrito em [8], foi concluído que o nível de sinal detectado a um metro de distância dos APs é, tipicamente, não superior a -32 dBm, devendo-se tais conclusões às características físicas do ambiente (edifícios essencialmente constituídos por vidro e madeira).

Tendo em vista a verificação dos valores destes parâmetros efectuaram-se medições dos níveis de sinal recebidos, referentes a alguns APs no edifício da Escola de Engenharia da Universidade do Minho (UM), existindo 3 pisos e, essencialmente, constituído por estruturas metálicas, vidro e betão. Os APs estão distribuídos pelos 3 pisos, existindo 3 no primeiro, 7 no segundo e 6 no terceiro piso. As medições foram

efectuadas em determinados pontos ao longo de um corredor, tendo-se registado a distância real entre o terminal e o AP e realizando-se três medições em cada ponto. De seguida, a informação obtida foi utilizada para estimar os valores dos parâmetros do modelo de propagação através de regressão logarítmica, tendo-se obtido os valores de $n=2.5$ e $ss_0=-22$ dBm (para $d_0=1$). Este processo está ilustrado na Figura 2, onde se representam os valores de RSSI medidos em função da distância, bem como a linha de regressão (modelo).

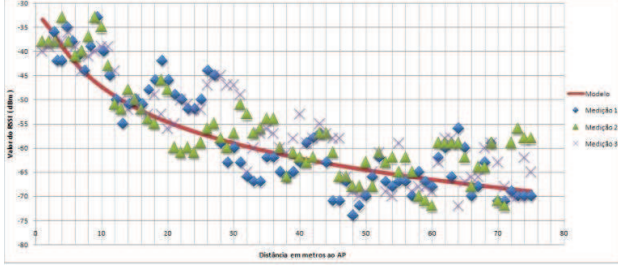


Figura 2. Modelo referente às medições do AP eduroam DSI-1A

Estes valores do modelo diferem consideravelmente dos valores apresentados em [8]. No entanto, estas medições foram efectuadas em condições em que se manteve sempre a linha de vista entre o AP e o terminal, o que justifica que os valores de RSSI observados sejam maiores. A Figura 2 mostra também que, apesar da regressão conduzir a um valor de $ss_0=-22$ dBm, em caso algum foram observados valores superiores a -30 dBm, o que está de acordo com os resultados descritos em [8]. Note-se ainda a grande variação nos valores de RSSI medidos para a mesma distância ou distâncias muito próximas, variações essas que chegam a atingir perto de 20 dB. Este é um fenómeno conhecido nas redes *WiFi* e, no contexto deste trabalho, constitui uma dificuldade adicional no processo de estimação das distâncias.

Resolvendo-se a equação (1) em ordem a d , obtém-se uma expressão que permite calcular directamente a distância desde um ponto de medição a um AP, dado o nível de sinal recebido. Com base nas estimativas das distâncias entre o ponto de medição e dois APs, $d_{m,1}$ e $d_{m,2}$, é possível obter um majorante para a distância entre os dois APs, $d_{1,2}$, como mostra a Figura 3. Este majorante é dado pela equação (2).

$$d_{1,2} \leq 10^{\frac{ss_0 - ss_1}{n \times 10}} + 10^{\frac{ss_0 - ss_2}{n \times 10}} \quad (2)$$

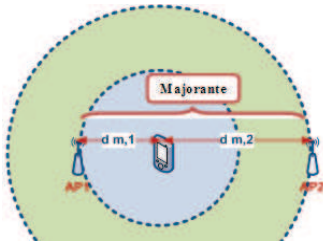


Figura 3. Majorante para a distância entre dois APs

Assim, para cada par de APs detectados na mesma medição, é possível calcular um majorante para a distância entre esses APs. Se numa mesma medição forem detectados n APs, então é possível estimar $R(n)$ majorantes para as distâncias entre pares de APs, com $R(n)$ obtido a partir da equação (3).

$$R(n) = \sum_{i=2}^n (i-1) \quad (3)$$

Uma vez que um mesmo par de APs pode ser detectado em várias medições diferentes, as várias medições conduzem a várias estimativas para o majorante da distância entre um mesmo par de APs. Note-se que não é possível minimizar os erros nas estimativas destas distâncias, decorrentes das flutuações do RSSI, através de médias ou outras técnicas simples, uma vez que a posição em que cada medição foi efectuada não é conhecida. Esta limitação não está presente em outras abordagens, nomeadamente nas soluções baseadas em *WarDriving*, porque, nesses casos, a posição em que as medições são efectuadas é conhecida.

Para contornar esta limitação, foram consideradas três abordagens diferentes:

1) *Menor distância*: neste caso assume-se que a menor distância entre dois APs é observada quando a medição é efectuada ao longo da linha recta que une os dois APs (Figura 3). Assim, à medida que se vão processando as várias medições, a melhor estimativa para a distância entre dois APs é sempre aquela cujo valor do majorante é menor. Na prática, para cada par de APs, esta abordagem apenas utiliza uma das medições de entre as muitas, em que esse mesmo par de APs pode ser observado.

2) *Média móvel cumulativa*: nesta abordagem utiliza-se uma média móvel em que a nova estimativa tem em consideração a estimativa anterior e o majorante calculado com base na medição actual:

$$d_{1,2}^{new}(\beta) = \beta \times d_{1,2}^{old} + (1 - \beta) \times d_{1,2}^{current} \quad (4)$$

O parâmetro β permite ajustar o peso dado às novas medições, com $\beta > 0.5$.

3) *Média móvel cumulativa não linear*: esta abordagem combina as duas anteriores na medida em que considera as estimativas anteriores no cálculo da nova estimativa, mas dando mais peso a novas medições que contribuam para reduzir a nova estimativa e menos peso a medições que contribuam para aumentar a nova estimativa. A nova estimativa é calculada usando a função definida em (4), mas com o valor de β dado por (5), onde $\beta_1 < 0.5$ e $\beta_2 > 0.5$.

$$\beta = \begin{cases} \beta_1 & , d_{1,2}^{current} \leq d_{1,2}^{old} \\ \beta_2 & , d_{1,2}^{current} > d_{1,2}^{old} \end{cases} \quad (5)$$

C. Módulo de visualização da rede WiFi

As estimativas das distâncias entre APs só por si, não permitem representar graficamente a disposição dos APs no espaço, uma vez que as suas posições não são conhecidas. Ao contrário do que acontece nas soluções baseadas em *WarDriving*, as posições em que as medições são efectuadas também não são conhecidas, pelo que não é possível estimar directamente a posição absoluta dos APs. Em alternativa, sugere-se uma solução que permite calcular as posições relativas dos APs.

Para efectuar o desenho do mapa da rede, o Módulo de representação da rede WiFi faz uso de um algoritmo do tipo *Force-Directed* para desenho de grafos [11]. Os algoritmos *Force-Directed* destinam-se a produzir desenhos de grafos genéricos que sejam esteticamente agradáveis. Estes algoritmos começam por atribuir uma posição geométrica aleatória a cada nó do grafo (normalmente num referencial 2D). Em seguida calculam-se as forças atractivas e repulsivas que afectam cada nó. Para cada nó, a força de atracção é o somatório das forças atractivas provocadas por todos os outros nós que lhe estão directamente ligados, como se existisse uma mola no lugar de cada aresta. Quanto mais afastado estiver um nó, maior será a força atractiva. A força repulsiva é o somatório de todas as forças repulsivas provocadas pelos outros nós, como se os nós tivessem uma mesma carga eléctrica. Quanto maior a distância entre dois nós, menor é a força repulsiva. Na terceira fase do processo desloca-se cada um dos nós, de uma certa quantidade, na direcção resultante da combinação das forças atractivas e repulsivas. Após a correcção na posição dos nós volta-se a calcular todas as forças e a ajustar novamente a posição dos nós. Após um dado número de iterações, as posições dos nós convergem para uma posição de equilíbrio em que todas as forças se equilibram. Uma vez que, no caso das redes WiFi, os APs estão num espaço tridimensional, desenvolveu-se um módulo de desenho inspirado nos algoritmos *Force-Directed*, mas para um espaço tridimensional.

IV. RESULTADOS

Nesta secção são apresentados e discutidos os resultados obtidos com as três abordagens descritas na secção III-B para o cálculo das distâncias entre pares de APs, bem como os resultados obtidos na componente de visualização da rede.

A. Módulo de cálculo de estimativas de distâncias

As três abordagens descritas na secção III-B foram avaliadas numa experiência realizada no edifício da Escola de Engenharia da UM. Em primeiro lugar foi efectuado o cadastro dos APs instalados e anotadas as suas posições reais num referencial geométrico tridimensional. A partir das posições dos APs calcularam-se as distâncias reais entre todos os pares de APs. Estas distâncias constituíram a base para a comparação com as distâncias estimadas obtidas através do processamento das medições. Seguidamente foram recolhidas 280 amostras das assinaturas rádio, ao longo de todo o edifício. Estas amostras foram seguidamente pré-processadas para se eliminarem os registos (valores de RSSI) relativos a APs não pertencentes ao edifício (e por isso não cadastrados) mas detectados nos vários pontos de medição. Não foi efectuado qualquer registo sobre a posição em que as amostras foram recolhidas. Tendo sido cadastrados 16 APs, as distâncias

conhecidas entre pares de APs são em número de 120, valor obtido a partir da equação (3) e utilizando um valor de $M=16$.

O resultado do processamento das 280 amostras, usando as três abordagens descritas anteriormente, está representado na Figura 4, onde é apresentado um histograma dos erros obtidos. É utilizado um valor de $ss_0=-22$ dBm, $n=3.5$, $\beta=0.9$ (requisito para a abordagem *média móvel cumulativa*) e $\beta_1=0.1$ e $\beta_2=0.9$ (útil para a abordagem *média móvel cumulativa não linear*).

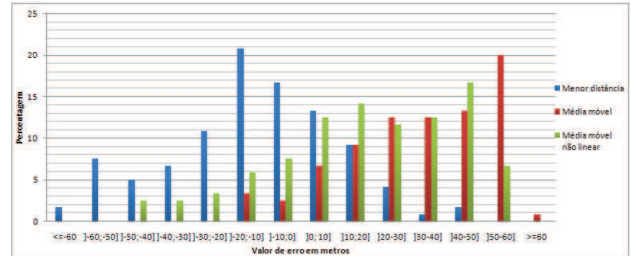


Figura 4. Histograma de erros na estimativa de distâncias entre pares de APs

Estes resultados mostram que mesmo incluindo um número considerável de medições, há muitas situações em que o erro na estimativa das distâncias entre APs é considerável. O recurso à abordagem *menor distância* permite obter melhor precisão média, comparativamente com as restantes abordagens apresentadas, embora isso seja sinónimo de estimativas de distâncias, significativamente inferiores às distâncias reais. É obtido um erro médio de 21 metros e um desvio padrão de 17 metros, utilizando abordagem *menor distância*. Com recurso à abordagem *média móvel cumulativa não linear*, foi obtida uma precisão média de 27 metros e um desvio padrão de 19 metros.

B. Módulo de visualização da rede WiFi

Para validar o módulo implementado usaram-se os dados relativos aos APs anteriormente cadastrados. Inicialmente foram atribuídas posições aleatórias aos APs, num espaço 3D, e cada aresta foi atribuída a distância real entre os APs, e depois executou-se o algoritmo. Ao fim de 100 iterações o desenho do grafo convergiu para a solução ilustrada na Figura 5, com um erro médio de 0.5 metros (distância entre a posição obtida e a posição real de cada AP). O resultado obtido para o mapa é em tudo semelhante ao mapa real absoluto, embora sujeito a movimentos de rotação, translação e reflexão, e mostra que é possível determinar as posições relativas dos APs com base nas distâncias entre pares de APs.

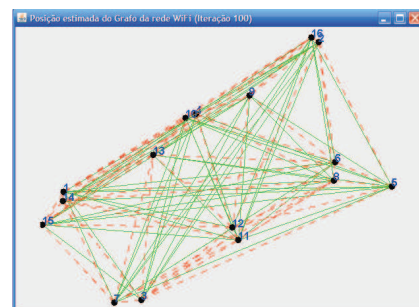


Figura 5. Mapa da rede obtido através de uma variante do algoritmo Force-Directed

Na Figura 5 observam-se algumas arestas a cor vermelha (a tracejado) e outras a cor verde, sendo que as primeiras representam arestas cujo comprimento é inferior ao real e as segundas arestas cujo comprimento é superior ao real.

C. Visualização do mapa da rede obtido através das assinaturas rádio

A aplicação do processo de visualização às distâncias estimadas a partir das assinaturas rádio pode ser usada, não só para efeitos de visualização, mas também como uma forma de melhorar as estimativas das distâncias entre pares de APs. Note-se que as distâncias estimadas a partir das assinaturas rádio não conduzem, necessariamente, a um conjunto de arestas do grafo que sejam coerentes do ponto de vista geométrico. Como exemplo, tome-se um conjunto de 3 APs e as respectivas 3 arestas. Se a distância estimada entre dois dos APs for superior à soma das outras duas distâncias, então não é possível que as três arestas formem um triângulo num espaço Euclidiano. Uma vez que os APs estão, na realidade, posicionados num espaço Euclidiano, então conclui-se que as estimativas das distâncias estão afectadas de erros.

Assim, quando se tenta visualizar o grafo cujas arestas têm comprimentos obtidos por estimativa, algumas arestas terão que sofrer deformações, esticando ou encolhendo, para que os nós possam ser posicionados no espaço tridimensional.

Na figura 6 apresenta-se um resultado preliminar da aplicação do conceito acima descrito às estimativas das distâncias obtidas a partir das assinaturas rádio, considerando um espaço a duas dimensões (XY). Esta figura mostra o histograma dos erros na estimativa das distâncias entre pares de APs, após se atingir a situação de equilíbrio. Estes resultados iniciais mostram que, se as distâncias estimadas estiverem afectadas de grandes erros, como ilustrado na Figura 4, o grafo que se obtém após se atingir o equilíbrio é composto por arestas cujos comprimentos são muito diferentes dos comprimentos reais. Consideram-se estes resultados preliminares uma vez que, o processo de desenho dos grafos é afectado por alguns parâmetros do processo e a escolha dos valores desses parâmetros afecta claramente o resultado final.

São igualmente processadas 280 amostras, usando as três abordagens descritas na secção III-B para o cálculo das distâncias entre pares de APs e um módulo de desenho inspirado nos algoritmos *Force-Directed*, descrito na secção III-C. É utilizado um valor de $ss_0 = -22$ dBm, $n=3.5$, $\beta=0.9$ (útil para a abordagem *média móvel cumulativa*) e $\beta_1=0.1$ e $\beta_2=0.9$ (requisito para a abordagem *média móvel cumulativa não linear*).

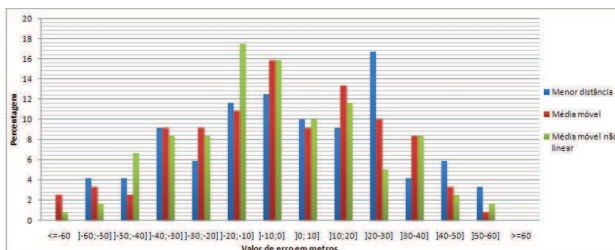


Figura 6. Histograma dos erros após a situação de equilíbrio

Com recurso à abordagem *média móvel cumulativa não linear*, foi possível obter melhor precisão média, comparativamente com as restantes abordagens, obtendo-se um erro médio de 21.8 metros e um desvio padrão de 15.7 metros. Com recurso à abordagem *média móvel cumulativa*, foi obtida uma precisão média de 22.7 metros e um desvio padrão de 16.1 metros, enquanto com a abordagem *menor distância* o erro médio obtido foi de 24.4 metros e o desvio padrão de 16.6 metros.

V. CONCLUSÕES/TRABALHO FUTURO

Neste documento foi apresentado um processo destinado a construir automaticamente um mapa de uma rede *WiFi*, a partir de assinaturas rádio recolhidas em posições desconhecidas. O resultado final deste processo é uma visualização da posição relativa dos APs, detectados nas assinaturas rádio, na forma de um grafo. Os resultados iniciais apresentados mostram que as variações temporais no nível de sinal rádio, detectado num dado ponto, conduzem a erros significativos na estimativa das distâncias entre pares de APs. Foi ainda discutida, a utilização de um processo de desenho de grafos com base na classe de algoritmos *Force-Directed* para a visualização dos mapas obtidos e para minimização dos erros que se observam nas estimativas obtidas através das assinaturas rádio. O trabalho em curso neste âmbito inclui a optimização dos parâmetros do processo de desenho dos grafos e o estudo de variantes a este mesmo processo no sentido de melhorar as estimativas que se obtêm após se atingir a situação de equilíbrio.

REFERENCES

- [1] WarDriving, <http://www.wardriving.com>, visited December 2009.
- [2] Cheng, Yu-Chung, et al., "Accuracy Characterization for Metropolitan-scale Wi-Fi Localization". *MobiSys '05: The Third International Conference on Mobile Systems, Applications and Services*, 2005, pp. 233-245.
- [3] Anthony LaMarca, et al., "Place Lab: Device Positioning Using Radio Beacons in the Wild", In *Proceedings of the third International Conference on Pervasive Computing 2005*, Munich, Germany, 8-13 May, 2005.
- [4] T. Henderson, D. Kotz, and I. Abyzov, "The changing usage of a mature campus-wide wireless network," *Computer Networks*, vol. 52, no. 14, 2008, pp. 2690-2712.
- [5] A. Sevtsuk, S. Huang, F. Calabrese, and C. Ratti, "Mapping the MIT campus in real time using WiFi," in *Handbook of Research on Urban Informatics: The Practice and Promise of the Real-Time City*, M. Foth, Ed. Hershey PA, IGI Global, 2008, pp. 326-337.
- [6] Baras, K. and A. Moreira, "Symbolic space modeling based on WiFi network data analysis", in *Networked Sensing Systems*, 2010 7th International Conference on, June 2010.
- [7] P. Bahl and V.N. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system", *IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM'00)*, pp. 775-784, March 2000.
- [8] Anthony LaMarca, et. al., "Self-Mapping in 802.11 Location Systems", *Proceedings of Ubicomp 2005*, Tokyo, Japan, 11-14 September, 2005.
- [9] A. Varshavsky, D. Pankratov, J. Krumm and E. de Lara, "Calibree: Calibration-free localization using relative distance estimations", In *Proceedings of 7th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys'09)*, 2009.
- [10] Goldsmith, A., "Wireless Communications", Cambridge University Press, August 2005.
- [11] Peter Eades, "A heuristic for graph drawing", *Congressus Numerantium*, 42, pp. 149-160, 1984.